

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

CERTIFICATE OF MAILING BY "EXPRESS MAIL"

"EXPRESS MAIL" MAILING LABEL NUMBER EL768537454 US

In re Patent Application of:  
**COFFA ET AL.**

) DATE OF DEPOSIT DEC 11, 2001  
))  
)) I HEREBY CERTIFY THAT THIS PAPER OR FEE IS BEING MAILED  
)) WITH THE UNITED STATES POSTAL SERVICE EXPRESS MAIL MAIL  
)) SERVICE TO ADDRESSEE SERVICE UNDER OR ON OR BEFORE THE DATE  
)) INDICATED ABOVE AND IS ADDRESSED TO THE COMMISSIONER OF  
)) PATENTS AND TRADEMARKS, WASHINGTON, D. C. 20591  
))  
)) DAWN KIMLER  
)) (TYPED OR PRINTED NAME OF PERSON MAILING PAPER OR FEE)  
)) Dawn Kimler  
)) (SIGNATURE OF PERSON MAILING PAPER OR FEE)

Serial No. **NOT YET ASSIGNED**

Filing Date: **HEREWITH**

For: **PRESSURE SENSOR MONOLITHICALLY  
INTEGRATED AND RELATIVE  
PROCESS OF FABRICATION**

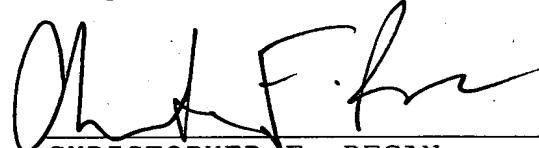
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

Director, U.S. Patent and Trademark Office  
Washington, D.C. 20231

Sir:

Transmitted herewith is a certified copy of the  
priority Italian Application No. VA2000 A 000042.

Respectfully submitted,



CHRISTOPHER F. REGAN

Reg. No. 34,906

Allen, Dyer, Doppelt, Milbrath  
& Gilchrist, P.A.

255 S. Orange Avenue, Suite 1401

Post Office Box 3791

Orlando, Florida 32802

Telephone: 407/841-2330

Fax: 407/841-2343

Attorney for Applicant

#9



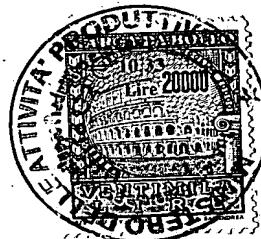


# Ministero delle Attività Produttive

Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività  
Ufficio Italiano Brevetti e Marchi  
Ufficio G2

Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per:

N. VA2000 A 000042



INV. IND.



Si dichiara che l'unità copia è conforme ai documenti originali  
depositati con la domanda di brevetto sopraspecificata, i cui dati  
risultano dall'accluso processo verbale di deposito.

Roma, li

26 NOV. 2001

IL DIRIGENTE

Ing. Giorgio ROMANI

Giorgio Romani



RIASSUNTO INVENZIONE CON DISPOSITIVO PRINCIPALE

NUMERO DOMANDA VAI 2000/A/0042 REG. A

NUMERO BREVETTO

DATA DI DEPOSITO

15 DIC. 2000

DATA DI RILASCIO

## A. RICHIEDENTE (I)

Denominazione STMicroelectronics S.r.l.Residenza Agrate Brianza (MI)

## D. TITOLO "SENSORE DI PRESSIONE MONOLITICAMENTE INTEGRATO E RELATIVO PROCESSO DI REALIZZAZIONE"

Classe proposta (sez/cl/scl)       (gruppo/sottogruppo)       /      

## E. RIASSUNTO

Un processo di realizzazione di un sensore di pressione comprende realizzare uno strato sepolto di un secondo tipo di conduttività in un substrato di silicio monocristallino di un primo tipo di conduttività crescendo uno strato epitassiale del primo tipo di conduttività, formare uno strato di ossido sacrificale sullo strato epitassiale, depositare uno strato di polisilicio di backplate con una pluralità di aperture disposte sull'area sensibile del sensore secondo una certa distribuzione, attaccare isotropicamente lo strato di ossido sacrificale attraverso le aperture fino a rimuovere lo strato di ossido dall'intera area sensibile e realizzare una cavità microfonica nell'area sensibile sotto detto strato epitassiale. Il processo consente di ottenere sensori di pressione monoliticamente integrati se prima di formare lo strato di ossido sacrificale si definisce mediante mascheratura e si attacca anisotropicamente lo strato epitassiale oppure il substrato e parzialmente lo strato sepolto formando scavi uniformemente distribuiti sull'area sensibile estendentesi in profondità per almeno parte dello spessore dello strato sepolto, attaccando elettrochimicamente attraverso gli scavi lo strato sepolto rendendolo poroso, ostruendo i fori attraverso lo strato epitassiale oppure attraverso il substrato depositando uno strato di materiale ostruente e planarizzando la superficie dello strato epitassiale. Infine si attacca selettivamente il materiale ostruente riaprendo i fori, si ossida termicamente il silicio poroso dello strato sepolto e si attacca isotropicamente con una soluzione acida solubilizzando e rimuovendo il silicio ossidato.

## M. DISEGNO

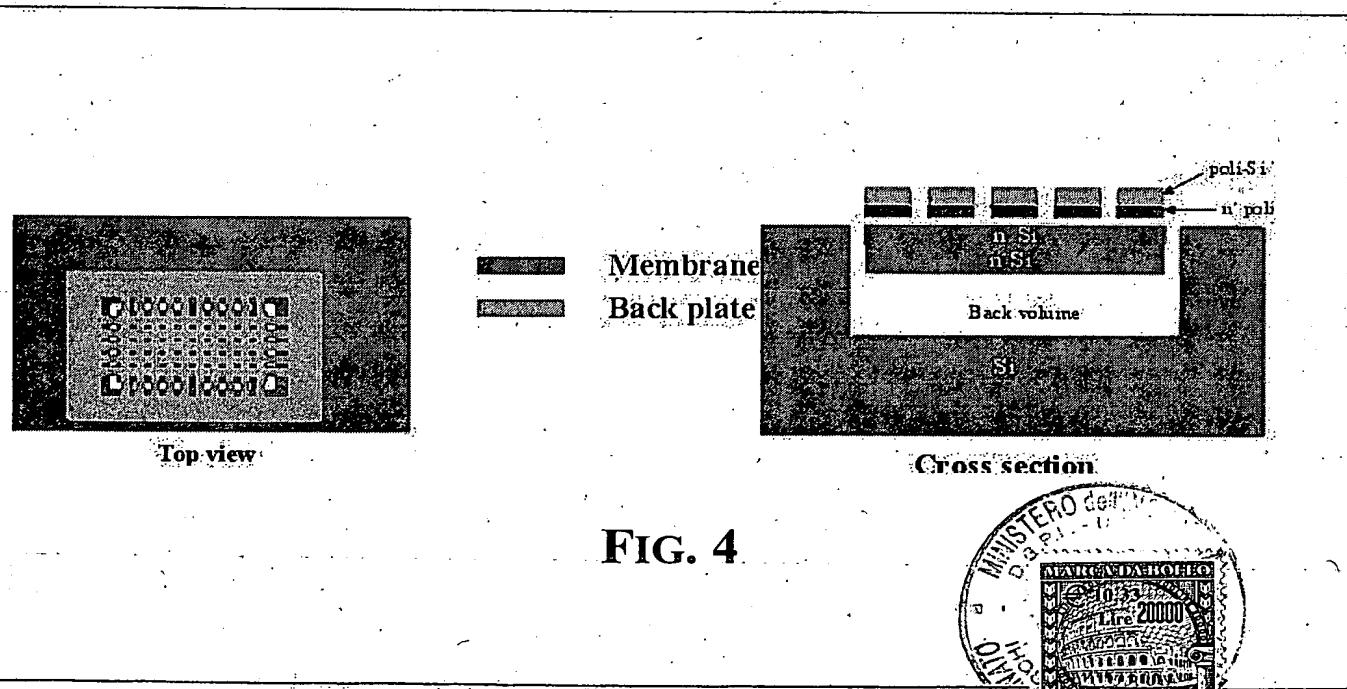


FIG. 4



15 DIC. 2000

*Titolare: STMicroelectronics S.r.l.*

**"SENSORE DI PRESSIONE MONOLITICAMENTE INTEGRATO E  
RELATIVO PROCESSO DI REALIZZAZIONE"**

**CAMPO DELL'INVENZIONE**

La presente invenzione concerne in generale i sensori di pressione e più in particolare un sensore di pressione integrato e un relativo processo di realizzazione mediante microlavorazione di superficie.

**BACKGROUND DELL'INVENZIONE**

I sensori di pressione sono impiegati in tante diverse applicazioni, tra cui in particolare i processi di cancellazione del rumore ("noise active cancellation"), specialmente in sistemi a parametri distribuiti quali ad esempio la cabina di un aeromobile o l'interno di un'autovettura.

A tali fini si fa ampio uso di sensori di pressione a semiconduttore, il cui elemento sensibile è una membrana di silicio vibrante, sovrastata da uno strato di polisilicio di "backplate", sopra una cavità microfonica.

I sensori di pressione sono ottenuti a partire da una struttura a semiconduttore ottenuta realizzando uno strato di silicio (strato sepolto) in un substrato di silicio monocristallino avente un certo tipo di droggaggio, opposto a quello dello strato sepolto, crescendo uno strato epitassiale (strato di copertura), che diventerà la membrana del sensore, avente condutività dello stesso tipo di quella del substrato.

Mediante il cosiddetto "etching da substrato", cioè scavando la superficie retrostante o di fondo del substrato fino a scoprire e ad attaccare selettivamente lo strato sepolto, si ottiene una membrana microfonica costituita dallo strato epitassiale sospeso sopra la cavità (cavità microfonica)

VA/ 2000/A/ 0042

15 DIC. 2000



così realizzata.

Questa tecnica richiede un allineamento della maschera usata per effettuare l'attacco sul retro del substrato con le maschere usate sul fronte del substrato per la realizzazione del backplate. Ciò costituisce uno svantaggio in termini di specifica attrezzatura richiesta, di precisione e di costi.

Inoltre la rimozione per attacco selettivo dello strato di silicio sepolto è convenientemente effettuata a temperatura relativamente elevata (circa 85-90°C), tipicamente mediante attacco con idrossido di potassio KOH.

Un ulteriore svantaggio di questo procedimento consiste nel fatto che si ha una velocità a tasso di rimozione (micron di materiale rimosso al minuto) in direzione normale al piano del substrato che tipicamente è dell'ordine di 0.3  $\mu\text{m}/\text{min}$ , mentre la velocità di rimozione in direzione parallela al piano del substrato è circa di 0.03  $\mu\text{m}/\text{min}$ , cioè dieci volte inferiore. Ciò implica la formazione di uno scavo che ha tipicamente un profilo a V come illustrato in Fig. 1. Questo profilo di scavo si ritrova in diversi tipi di sensori, come quelli di Fig. 2, siano essi piezoresistivi (a), piezoelettrici (b), capacitivi (c) o a lettura ottica (d).

La cavità microfonica viene successivamente chiusa mediante la tecnica cosiddetta di "wafer bonding", ossia "incollando" il sensore così costituito su un wafer che ospiterà eventualmente la circuiteria relativa.

Nel brevetto US 5,659,195 è descritto un metodo per realizzare strutture integrate CMOS realizzando dapprima alcune parti circuitali su un distinto wafer e quindi effettuando il wafer bonding.

In pratica, con il processo descritto, che risulta relativamente complicato a causa della fase di incollaggio, non si realizza un sensore di

15 DIC. 2000



pressione monoliticamente integrato come sarebbe assai più preferibile per ovvie ragioni. Inoltre non è possibile modulare a piacimento l'altezza della cavità microfonica, che è predefinita dallo spessore del substrato.

#### SCOPO E SOMMARIO DELL'INVENZIONE

È stato trovato ed è l'oggetto dell'invenzione un processo di realizzazione di sensori di pressione monoliticamente integrabili in un circuito integrato e che supera certe limitazioni e svantaggi della tecnica nota come sopra menzionate. Secondo la presente invenzione, si sfruttano tecniche note per realizzare strutture micromecaniche di superficie, tipiche dei MEMS (MicroElectroMechanical Systems), per ottenere dei sensori di pressione monoliticamente integrati.

Più precisamente, l'oggetto dell'invenzione è un processo di realizzazione di un sensore di pressione che comprende realizzare uno strato sepolto di opposto tipo di conduttività in un substrato di silicio monocristallino di un primo tipo di conduttività crescendo quindi uno strato epitassiale del primo tipo di conduttività, formare uno strato di ossido sacrificale sullo strato epitassiale, formare uno strato di polisilicio di backplate con una pluralità di fori disposti sull'area sensibile del sensore secondo una certa distribuzione, attaccare isotropicamente lo strato di ossido sacrificale attraverso i fori fino a rimuovere lo strato di ossido nell'area sensibile e realizzare una cavità microfonica nell'area sensibile sotto lo strato epitassiale, in forma monolitica.

Il processo dell'invenzione si differenzia dai processi noti per il fatto che la cavità microfonica è essenzialmente realizzata effettuando le operazioni seguenti prima di formare lo strato di ossido sacrificale:



VA/ 2000/A/0042  
15 DIC. 2000

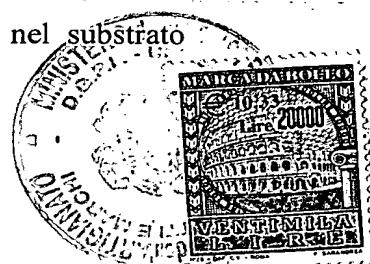
1. formare mediante attacco in plasma scavi sulla superficie superiore o inferiore del silicio ed estesi in profondità per almeno parte dello spessore dello strato di silicio sepolto da rimuovere;
2. attaccare elettrochimicamente in modo selettivo, attraverso tali scavi, il silicio dello strato sepolto con un elettrolita specifico di attacco del silicio di detto tipo opposto di conduttività rendendolo poroso;
3. ossidare ed attaccare il silicio poroso.

Con la prima operazione si realizzano scavi che raggiungono lo strato sepolto, mentre la seconda è strumentale a rendere poroso il silicio dello strato sepolto in modo da promuoverne l'ossidazione e il successivo attacco chimico di asportazione che è effettuabile a temperature più basse rispetto a quelle richieste secondo la tecnica nota.

Preferibilmente, gli scavi di accesso allo strato sepolto sono effettuati attraverso lo strato epitassiale e non dal retro del substrato, perché in quest'ultimo caso si dovrebbe effettuare una mascheratura sulla superficie di fondo del substrato con i sopra citati svantaggi relativi al problema di allineamento con le maschere utilizzate per i trattamenti sul fronte del substrato. Inoltre a causa del maggiore spessore del substrato rispetto allo strato epitassiale, bisognerebbe realizzare degli scavi più profondi, che quindi necessiterebbero di una speciale apparecchiatura di attacco in plasma.

Opzionalmente, si può ossidare lo strato di silicio poroso immediatamente dopo l'attacco selettivo elettrochimico oppure in una fase successiva del processo, dopo la deposizione dello strato di backplate.

Un ulteriore vantaggio della presente invenzione è quello di fornire sensori di pressione con cavità interne interamente definite nel substrato



VA/ 2000/A/ 0042

15 DIC. 2000

permette di realizzare sensori di pressione monoliticamente integrati, utilizzando tecniche di micromachining di superficie ed di etching a bassa temperatura.

Si realizza dapprima uno strato sepolto in un substrato di silicio monocristallino avente un drogaggio di conduttività opposta rispetto a quello del substrato, crescendo sullo strato sepolto uno strato epitassiale avente una conduttività dello stesso tipo di quella del substrato.

Nell'esempio di Fig. 3 lo strato sepolto è di tipo P mentre il substrato e lo strato epitassiale sono di tipo N, ma l'invenzione è concettualmente attuabile anche in una situazione duale a tipologie invertite.

La cavità del sensore è realizzata senza scavare una faccia del substrato.

Mediante mascheratura e attacco anisotropico si formano scavi, preferibilmente attraverso lo strato epitassiale piuttosto che attraverso il substrato partendo dal retro del substrato per i motivi prima menzionati. In ogni caso tali scavi si estendono in profondità per almeno parte dello spessore dello strato sepolto. Indi si attacca elettroliticamente lo strato sepolto con un elettrolita specifico per il silicio di tipo P, rendendolo poroso.

Si chiudono quindi i fori degli scavi depositando ad esempio un ossido di silicio mediante PVAPOX proseguendo quindi in maniera comune al deposito dello strato di backplate, realizzando cioè dapprima uno strato di ossido sacrificale sull'area sensibile, contornando tale area con uno strato deposto di nitruro, formando infine uno strato di polisilicio di backplate con una pluralità di aperture sopra lo strato di ossido sacrificale e sopra lo strato di nitruro. Lo strato di ossido sacrificale è quindi rimosso mediante attacco

15 DIC. 2000



isotropico attuato attraverso le aperture del sovrastante strato si polisilicio di backplate.

Infine si realizza una cavità microfonica. Questa viene realizzata rimuovendo il PVAPOX di chiusura dei fori, ossidando il silicio poroso dello strato sepolto ed attaccando chimicamente e rimuovendo l'ossido solubilizzato attraverso i fori.

Opzionalmente, si può anche anticipare la fase di ossidazione del silicio poroso dello strato sepolto immediatamente dopo l'attacco elettrochimico, proseguendo il processo ostruendo i fori, planarizzando la superficie e realizzando il backplate.

I sensori di pressione ottenuti con il metodo dell'invenzione sono quindi interamente realizzati in forma monolitica, a differenza dei sensori incorporati nei dispositivi CMOS del brevetto US 5,659,195, in cui invece la cavità microfonica è chiusa inferiormente a seguito del "wafer bonding" del sensore su un altro wafer.

Inoltre le dimensioni della cavità microfonica dei sensori di pressione dell'invenzione possono essere definite semplicemente variando lo spessore dello strato sepolto.

Con il processo dell'invenzione la cavità microfonica è realizzata solubilizzando il silicio ossidato (cioè l'ossido), cosa che può essere convenientemente effettuata a temperatura ambiente usando una soluzione diluita di acido fluoridrico, mentre con i processi noti bisogna attaccare chimicamente e solubilizzare il silicio cristallino a circa 85-90°C, in quanto la velocità di attacco a temperatura ambiente è notoriamente molto bassa.

La membrana di un sensore di pressione dell'invenzione può essere



VA/2000/A/0042  
15 DIC. 2000

sagomata in modo qualsiasi, ad esempio a guisa di settori circolari concentrici, ciascuno di larghezza di circa 100  $\mu\text{m}$ , come illustrato in Fig. 5.

Il sensore di pressione dell'invenzione è facilmente integrabile con tecnologie standard, prevedendo per una prima sequenza di fasi di processo tali da permettere la formazione di silicio poroso selettivamente dello strato sepolto, alla quale possono seguire le fasi di processo standard (ad es. CMOS) per la realizzazione della circuiteria con cui dovrà interagire il sensore.

Un ulteriore obiettivo dell'invenzione è quello di fornire un sistema monoliticamente integrato di rilevazione come quello illustrato in Fig. 6 che, analizzando i segnali prodotti dai sensori di pressione dell'invenzione, disposti in punti diversi di uno stesso chip, permette di determinare la direzione di provenienza di un'onda sonora, oltre che la sua intensità.

I sensori di pressione, che nell'esempio di Fig. 6 sono solo due, ma che possono essere in un qualsivoglia numero, produrranno in generale in istanti diversi un segnale elettrico rappresentativo della vibrazione indotta sulla propria membrana. Per valutare la direzione di provenienza di un'onda sonora incidente sui sensori di pressione del sistema dell'invenzione, è necessario conoscere gli sfasamenti temporali con cui i vari sensori rilevano l'onda sonora.

Ciò può essere fatto correlando in tempo-ritardo il segnale prodotto da un primo sensore con quello rispettivamente prodotto da ciascun altro sensore presente sul dispositivo integrato, calcolando per quali ritardi le varie correlazioni assumono valore massimo. Ciascuno di questi ritardi sarà pari alla differenza tra i tempi impiegati dall'onda sonora per percorrere la



VA/ 2000/A/0042

15 DIC. 2000



RIVENDICAZIONI

1. Processo di realizzazione di un sensore di pressione che comprende realizzare uno strato sepolto di un secondo tipo di conduttività ( $Si_P^+$ ) in un substrato di silicio monocristallino ( $Si_N^-$ ) di un primo tipo di conduttività crescendo uno strato epitassiale ( $N_Si$ ) di detto primo tipo di conduttività, formare uno strato di ossido sacrificale su detto strato epitassiale ( $N_Si$ ), depositare uno strato di polisilicio di backplate con una pluralità di aperture disposte sull'area sensibile del sensore secondo una certa distribuzione, attaccare isotropicamente detto strato di ossido sacrificale attraverso dette aperture fino a rimuovere detto strato di ossido dall'intera area sensibile e realizzare una cavità microfonica in detta area sensibile sotto detto strato epitassiale, caratterizzato dal fatto che

prima di formare detto strato di ossido sacrificale comprende:

definire mediante mascheratura ed attaccare anisotropicamente detto strato epitassiale ( $N_Si$ ) oppure detto substrato ( $Si_N^-$ ) e parzialmente detto strato sepolto formando scavi uniformemente distribuiti su detta area sensibile estendentesi in profondità per almeno parte dello spessore di detto strato sepolto,

attaccare elettrochimicamente attraverso detti scavi lo strato sepolto impiegando un elettrolita specifico di attacco del silicio di detto secondo tipo di conduttività rendendolo poroso,

ostruire i fori attraverso detto strato epitassiale ( $N_Si$ ) oppure attraverso detto substrato ( $Si_N^-$ ) di detti scavi depositando uno strato di materiale ostruente,

planarizzare la superficie di detto strato epitassiale; e

15 DIC. 2000



attaccare selettivamente detto materiale ostruente riaprendo detti fori;  
ossidare termicamente il silicio poroso di detto strato sepolto;

attaccare isotropicamente con una soluzione acida solubilizzando e  
rimuovendo il silicio ossidato attraverso detti fori riaperti  
realizzando detta cavità microfonica.

2. Il processo secondo la rivendicazione 1, in cui detta soluzione  
acida è una soluzione diluita di acido fluoridrico e l'attacco è effettuato a  
temperatura ambiente.

3. Il processo secondo una delle rivendicazioni 1. e 2, in cui detto  
materiale ostruente e detto ossido sacrificale sono di ossido di silicio  
depositato mediante tecnica PVAPOX.

4. Il processo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 3, in cui detti  
scavi sagomano detta membrana in settori concentrici.

5. Il processo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 4, in cui detta  
operazione di ossidazione termica è effettuata immediatamente dopo l'attacco  
elettrochimico dello strato sepolto.

6. Sensore di pressione definito da un substrato di silicio sopra  
un'area sensibile del quale è realizzata una membrana di silicio, uno strato di  
polisilicio di backplate, avente una pluralità di aperture distribuite sopra  
l'area sensibile formati sopra detta membrana e distanziati da essa,  
caratterizzato dal fatto che

detto sensore di pressione è realizzato in forma monolitica mediante il  
processo definito in una delle rivendicazioni da 1 a 5.

7. Il sensore di pressione della rivendicazione 6, in cui detto strato di  
backplate è costituito da uno strato di polysilicio drogato con un drogante

15 DIC. 2000



dello stesso tipo di conduttività del substrato ricoperto da uno strato di polisilicio non drogato.

8. Sistema monoliticamente integrato di rilevazione della direzione di provenienza di un'onda sonora comprendente

una pluralità di sensori di pressione secondo una delle rivendicazioni 6 e-7, disposti secondo una certa geometria producenti rispettivi segnali di rilevazione;

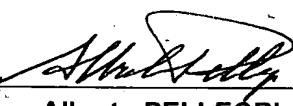
altrettanti convertitori analogico-digitali dei segnali prodotti dai rispettivi sensori, producenti rispettivi segnali digitali;

mezzi correlanti in tempo-ritardo il segnale digitale prodotto dal rispettivo sensore con il segnale digitale di un primo sensore e calcolanti un valore del ritardo per cui la rispettiva correlazione assume valore massimo;

un processore calcolante per triangolazione la direzione di provenienza dell'onda sonora rilevata dai sensori di pressione in funzione di detta geometria e di detti valori del ritardo.

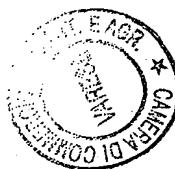
\*\*\*\*\*  
p.p. STMicroelectronics S.r.l.

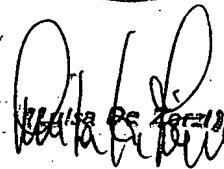
Il Mandatario

  
Alberto PELLEGRI  
N° Iscr. Albo 114 BM

(Società Italiana Brevetti S.p.A.)

VA/000396/IN



  
Recita 05/2000

VA/ 2000/A/ 00 42  
15 DIC. 2000

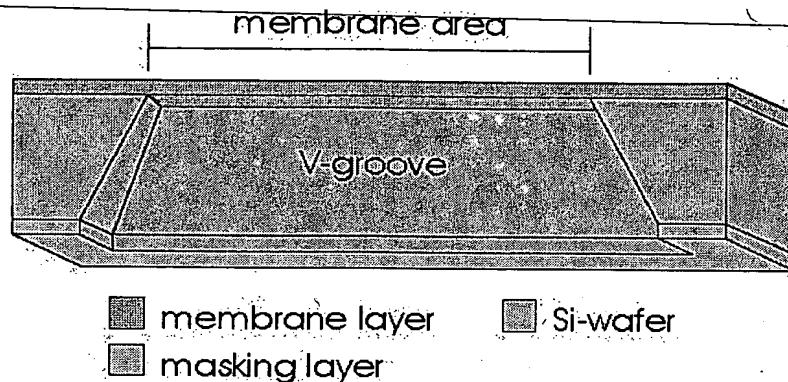


FIG. 1

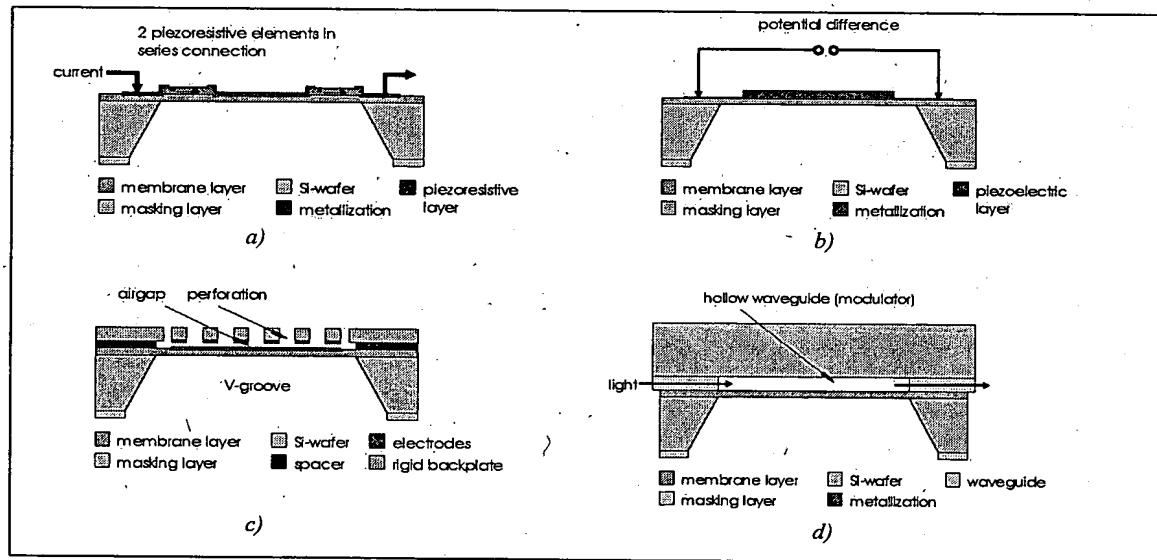


FIG. 2



15 DIC 2000

*Alb rto PELLEGRI*  
N° Iscr. Albo 114 BM

VA/ 2000/A/ 0042

15 DIC. 2000

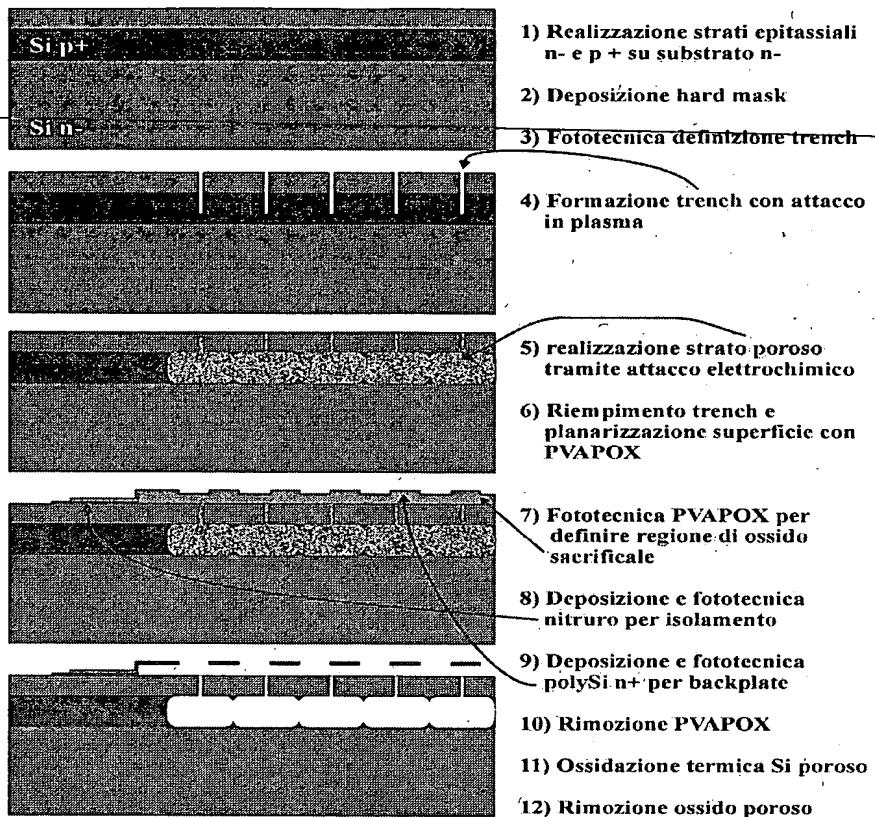


FIG. 3

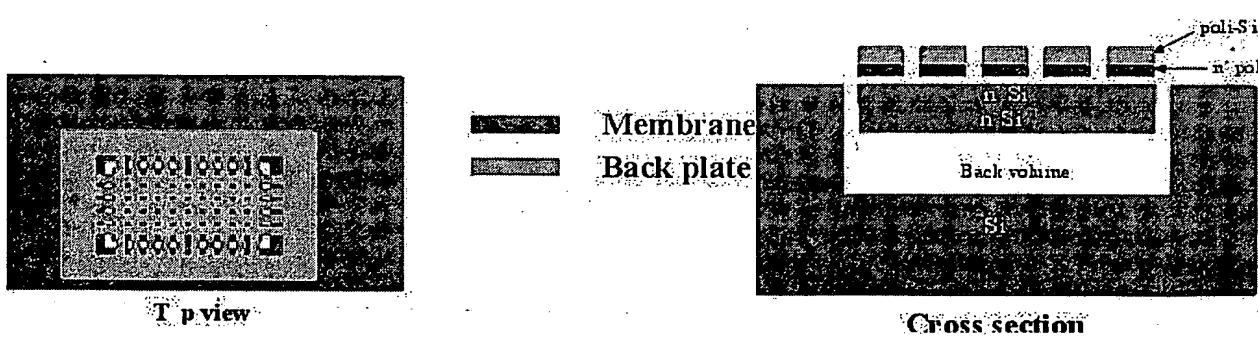


FIG. 4



*Rita De Rossi  
Luisa De Zorzi*

*Alberto PELLIGRI*  
N° Iscr. Albo 114 BM

VA/ 2000/A/ 0042

15 DIC. 2000

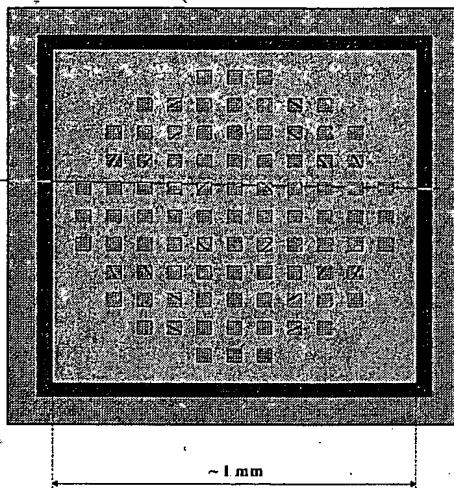


FIG. 5

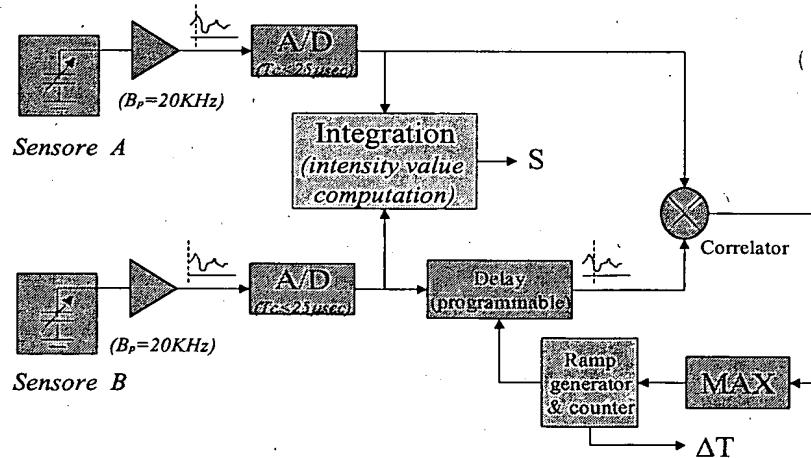


FIG. 6



*D. De Zorzi*  
Luisa De Zorzi

*Alberto Pellegrini*  
Nº Iscr. Albo 114 BM